

青藏高原上空环流变化与其东侧 旱涝异常分析*

李跃清

(成都高原气象研究所, 成都 610071)

摘 要 应用奇异值分解(SVD)技术研究了青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区夏季降水场的时空结构及相互关系。结果表明:第一模态代表了两场间的主要耦合特征,具有高度的时空相关;前期 10~12 月、1~4 月青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区 6~8 月降水场具有显著的联系,前期高度场变化引起后期南亚高压状况异常,导致高原东侧地区旱涝灾害;高原东侧地区严重干旱(洪涝)年,其上空 100 hPa 高度场为负(正)距平控制;高度场与降水场的这种非同步联系,时空相关显著,时间间隔长,物理意义明确,是高原东侧地区夏季旱涝异常的一种预测信号。

关键词: 奇异值分解; 青藏高原; 大气环流; 夏季旱涝

1 引言

研究表明,青藏高原上空大气环流变化直接影响着我国天气、气候的形成和演变,其中,高原上空南亚高压的活动与北半球大气环流及我国大范围旱涝冷暖有密切关系。陶诗言、朱福康^[1]分析了夏季亚洲南部 100 hPa 流型的变化及其与太平洋副热带高压的变动,得到南亚高压围绕青藏高原东西振荡及其与长波调整的关系。叶笃正等^[2]从模拟实验分析了青藏高原加热作用对南亚高压的重要影响。朱福康等^[3]从气候学、天气学和动力学方面较全面地阐述了南亚高压的性质、结构、活动规律以及成因等问题。另外,罗四维等^[4]利用 13 年资料进行了夏季 100 hPa 南亚高压与我国东部旱涝关系的天气气候研究,指出南亚高压为东部型和带状型时,长江中下游、川东及贵州少雨(旱),川西及华北多雨(涝);相反为西部型时,长江中下游、川东及贵州多雨(涝),川西少雨(旱),华北多雨(涝)。成都中心气象台^[5]通过个例对比分析,得到异常早年南亚高压位置偏北偏东且更稳定的结果。四川省气象科学研究所^[3]指出南亚高压活动偏北时,四川易旱;南亚高压活动偏西偏南时,四川易涝。强调了南亚高压南北变化的重要性。

由于对南亚高压与青藏高原东侧地区旱涝异常的关系,过去的工作多属于典型个例或 10 余年资料的分析,得出的结果也有差异,并且环流与降水两要素场的分析是分离进行的,还没形成较全面清晰的物理图象,所以有必要利用长时间资料进行更客观细致的分析研究。

我们利用 34 年资料,通过奇异值分解(SVD)技术,进一步分析了青藏高原上空

100 hPa 大气环流变化与高原东侧地区旱涝异常的时空联系, 找到了一种预测高原东侧地区夏季旱涝事件的前期信号, 得到了一些有意义的结果。

2 资料与方法

SVD (Singular Value Decomposition)是一种分析两个要素场之间相关的方法, 即可最大限度地从两个要素场分离出多个相互独立的耦合模态, 从而揭示出两个气象场所存在的时域相关性的空间联系, 这种耦合的空间分布型能最大限度地解释两场的交叉协方差^[6]。由于奇异值分解是以两个场之间的最大协方差为基础的展开, 它在研究两个要素场序列之间时空关系时是一个有力的工具。孙照渤等^[7]指出: 奇异值分解在分析两个不同要素场之间的联系时比自然正交函数、典型相关方法更为有效。研究表明: SVD 技术在气象场的时空分布耦合信号的诊断分析中具有普适性^[6], 已广泛应用于两个要素场的气候诊断分析中。

应用国家气象中心 1956~1996 年北半球 10×10 经纬度 100 hPa 月平均高度场资料和 1961~1994 年四川省、重庆市 21 站月总降水资料, 主要针对青藏高原上空 (40~20°N, 100~40°E), 也就是夏半年南亚高压主要活动地区 100 hPa 高度场和高原东侧地区 (指四川省和重庆市) 月总降水量场, 进行了两场的 SVD 诊断分析^[8]。

为了客观反映 SVD 分析中每一模态左右场的遥相关程度及相互作用的关键区, 定义 (1) 各模态左右场展开时间系数间的相关为模态相关系数; (2) 各模态左 (右) 场展开时间系数与右 (左) 场间的相关为该模态左 (右) 场对右 (左) 场的异类相关。其通过显著性检验的格点构成显著相关区, 代表了这两个场相互影响的关键区。另外, 左、右奇异向量代表了自身场的分布特征。

我们取青藏高原上空 100 hPa 高度场为左场, 有 21 个格点, 高原东侧地区降水场为右场, 有 21 个测站, 左右场时间序列长度为 1961~1994 年共 34 年。对高度场和降水场距平标准化处理后, 进行了下述时滞耦合 SVD 分析: (a) 以 6~8 月平均 100 hPa 高度场为左场, 同期 6~8 月降水场为右场; (b) 以前期 1~4 月平均 100 hPa 高度场为左场, 后期 6~8 月降水场为右场; (c) 以前期 10~12 月平均 100 hPa 高度场为左场, 第二年 6~8 月降水场为右场。

3 结果分析

从表 1 可知, 青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区降水场具有密切的时空相关, 尤其是第一模态方差贡献大, 相关超过 0.1%的信度 (临界相关系数 $r=0.54$)。因此, 100 hPa 高度场能够反映出降水场的变化信息, 并且第一模态代表了两场相关的

表 1 3 次 (a、b、c) SVD 前两个模态的相关及协方差贡献

SVD 模态	a		b		c	
	1	2	1	2	1	2
模态相关系数 r	0.56	-0.54	0.67	-0.47	0.60	0.62
协方差贡献	67.3%	24.0%	83.4%	7.1%	66.1%	18.6%

基本特征。下面主要分析前期 1~4 月 100 hPa 高度场与后期夏季高原东侧地区降水场的非同步 SVD 结果。

图 1a、b 分别给出了前期 1~4 月 100 hPa 高度场, 后期 6~8 月高原东侧降水场分解的空间分布型第一模态。高度场上, 高原上空整个区域都为正值区, 最大区域位于 $55^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, 这是未来夏季南亚高压中心活动的主要范围。降水场上, 除东南角一小片负值区外, 其余地区都为正值区, 最大正值区域位于 $104^{\circ}\sim 107^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$, 中心在四川北部。

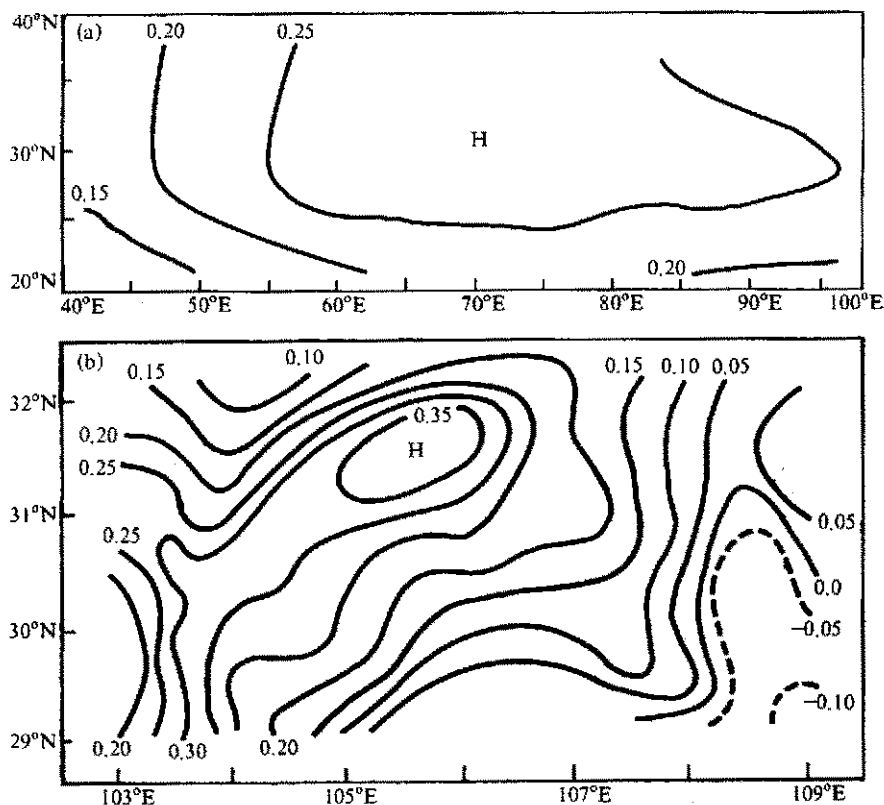


图 1 由 SVD 得到的 1~4 月 100 hPa 高度场 (a) 和 6~8 月高原东侧降水场 (b) 空间结构的第一模态

图 2 进一步表明: 两场第一模态的时间系数变化趋势非常一致, 相关达 0.67, 具有明显的非同步联系。而且, 1961~1994 年青藏高原东侧地区重大旱涝异常事件都有清晰的反映, 强度也拟合得较好, 1994、1978、1972、1975、1969、1970、1976 年的严重干旱都发生在时间系数的负位相中, 而 1993、1987、1981、1984、1973、1965、1989 年的严重洪涝都发生在正位相中。这表明前期 1~4 月高原上空 100 hPa 高度场异常偏高 (低), 未来夏季高原东侧大部地区降水偏多 (少), 具有指示意义。

并且, 右场高原东侧地区夏季降水场的第一模态时间系数与左场前期 1~4 月青藏高原 100 hPa 高度场的异类相关 (图略), $50^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 是超过 0.1% 信度的相关区, 整个分布与图 1a 一致。左场 1~4 月 100 hPa 高度场的第一模态时间系数与右场高原东侧地区夏季降水场的异类相关 (图略) 与图 1b 分布一致, 主要为正相关, 超过

5%信度的相关位于 104~107°E、31~32°N 范围。由此，反映了青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区降水场的非同步相互作用关键区。

需要指出的是，前期 10~12 月青藏高原上空 100 hPa 高度场与 6~8 月高原东侧地区降水场的 SVD 分析具有与上述 SVD 分析基本类似的结果。

用高原东侧地区夏季降水场第一模态时间系数，与前期 10~12 月、1~4 月青藏高原上空 100 hPa 高度场的异类相关超过 1% 信度（临界相关系数 $r=0.44$ ），作为前期高度场对后期降水场的作用关键区，定义其区域内格点高度距平之和为高度指数 H_1 、 H_2 。统计表明：1961~1994 年的 34 年中， H_1 与高原东侧地区区域平均降水距平 R 有 23 年同号，占 68%； H_2 与 R 有 26 年同号，占 76%。 H_1 与相应右场 6~8 月降水场的第一模态时间系数 B_1 ，34 年中有 26 年同号，占 76%； H_2 与相应右场 6~8 月降水场的第一模态时间系数 B_2 ，34 年中有 28 年同号，占 82%。而且，34 年中青藏高原东侧地区夏季严重干旱事件有 1994、1978、1972、1975、1969、1970、1976 年，严重洪涝事件有 1993、1987、1981、1984、1973、1965、1989 年，与前期高度指数 H_1 、 H_2 具有较好的对应关系。

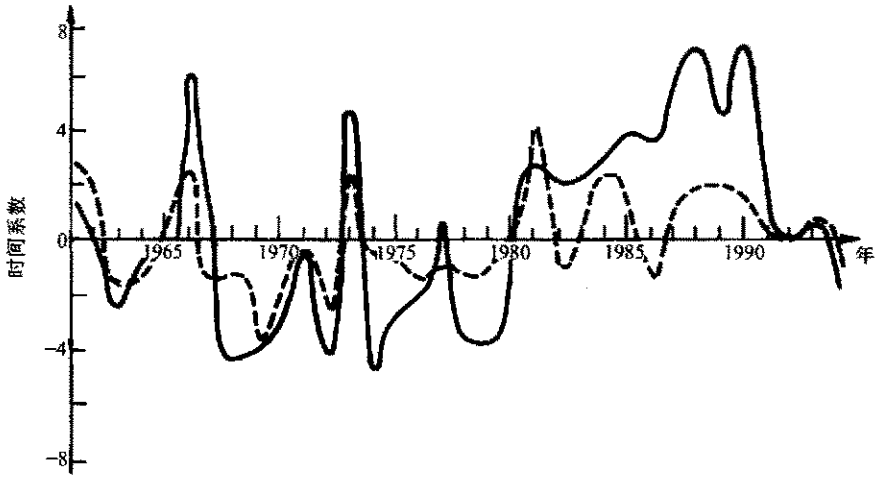


图 2 由 SVD 得到的 1~4 月 100 hPa 高度场（实线）与 6~8 月高原东侧地区降水场（虚线）第一模态的时间系数

相关分析（图略）表明：前期 1~4 月青藏高原上空 100 hPa 高度指数 H_2 与后期夏季高原上空南亚高压活动区域 100 hPa 高度场有明显正相关，超过了 0.1% 信度的相关区位于 60~120°E、20~50°N，中心在 100°E、30°N，而前期 10~12 月高度指数 H_1 的相关与此类似，但中心偏北。对 1994、1978、1972、1969、1970 年 5 个严重干旱年和 1993、1965、1984、1981、1973 年 5 个严重洪涝年的分析可知，严重干旱（洪涝）年前期 10~12 月、1~4 月青藏高原上空 100 hPa 高度场主要为负（正）距平分布，而后期夏季仍主要为负（正）距平分布（见图 3）。具体表现在：干旱年，从高原及其东侧地区一直到我国东部都为负距平，中心位于 100°E 以东、30°N 以南的高原东侧地区，50~70°E、20~40°N 和 70~130°E、35~45°N 南亚到高原西北部及我国华北为正值区，在 60~130°E、20~45°N 范围，维持“西高东低和北高南低”异常分布；洪涝年与

此不同, 从高原及其东侧地区一直到我国东部都为正距平, 中心在 100°E 以东、 30°N 以南的高原东侧地区, 其余地区为弱的正值区, 在 $60\sim 130^{\circ}\text{E}$ 、 $20\sim 45^{\circ}\text{N}$ 范围, 维持“西低东高和北低南高”异常分布。由图 4 可知, 与此异常相对应, 100 hPa 高度场上夏季南亚高压位置和强度差异显著。以 1 680 位势什米表征的南亚高压主体, 严重干旱年

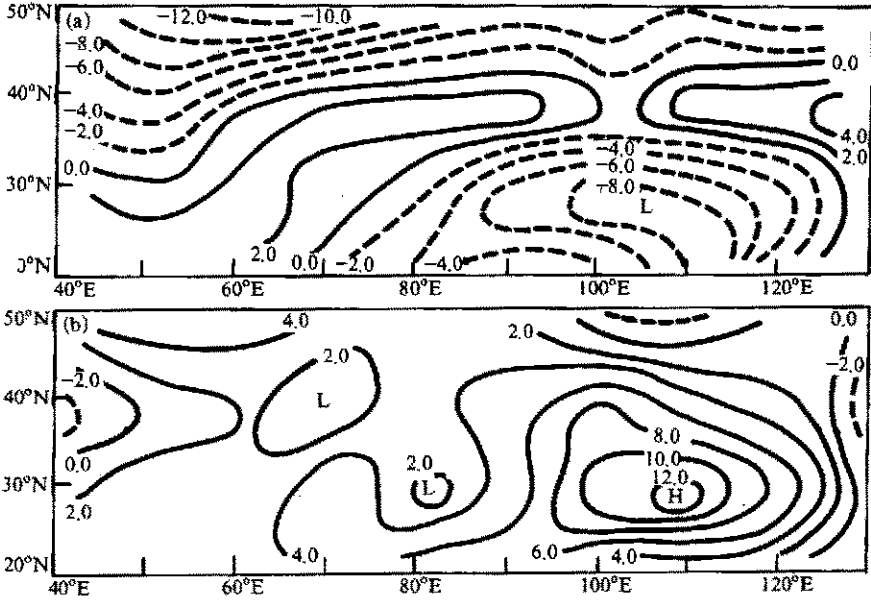


图 3 5 个严重干旱年 (a) 和 5 个严重洪涝年 (b) 夏季 100 hPa 高度距平场合成图
单位: 位势什米

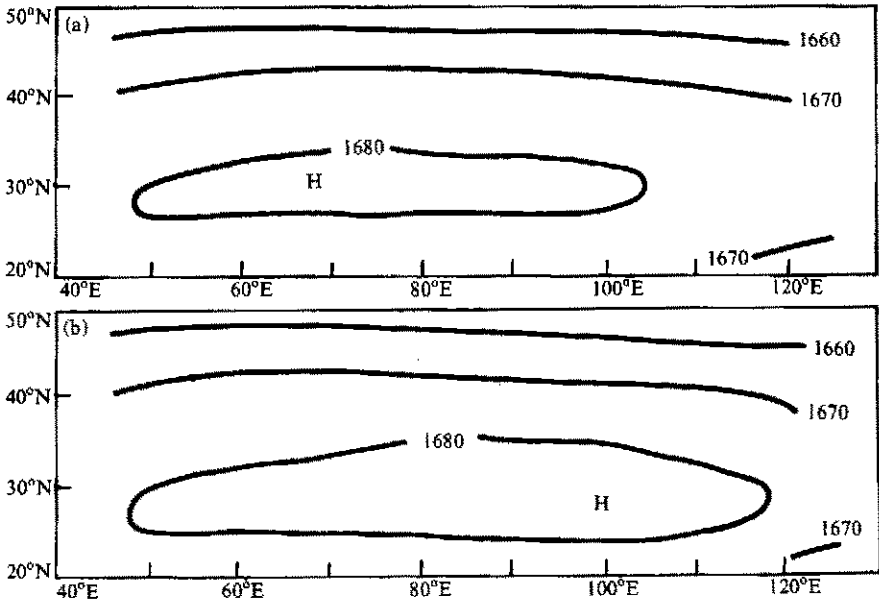


图 4 5 个严重干旱年 (a) 和 5 个严重洪涝年 (b) 夏季 100 hPa 平均高度场
单位: 位势什米

位置偏西偏北, 主中心位于 70°E 、 30°N 以北, 1680 线东伸点在 100°E ; 而严重洪涝年位置偏东偏南, 主中心在 100°E 、 30°N 以南, 正好位于高原东侧地区上空, 1680 线东伸点在 120°E 。因此, 高度场与降水场的这种联系, 反映了前期青藏高原上空 100 hPa 高度场, 通过影响后期 $6\sim 8$ 月高度场及其分布结构, 引起南亚高压状况变化, 造成高原东侧地区夏季旱涝灾害。

上述 $1961\sim 1994$ 年 SVD 分析表明: 青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区降水场时空相关显著, 时间间隔长, 物理意义明确, 根据前期 $10\sim 12$ 月、 $1\sim 4$ 月的高度指数 H_1 、 H_2 的符号和前期 $60\sim 130^{\circ}\text{E}$ 、 $20\sim 45^{\circ}\text{N}$ 范围高度异常水平分布, 可预报高原东侧地区平均降水偏多偏少。实际验证表明: 1995 年前期 $H_1 = -15$ 、 $H_2 = 6$, 但高度异常水平分布为“东高西低”, 则当年夏季高原东侧降水除西部偏多外其余地区正常或偏少; 1996 年前期 $H_1 = -18$ 、 $H_2 = -5$, 则当年夏季高原东侧降水大范围严重偏少, 大部偏少 $20\%\sim 40\%$ 以上 (图略)。因此, 前期秋、冬、春季青藏高原上空 100 hPa 高度场变化是高原东侧地区夏季降水异常的一个重要预测信号。

4 结论

(1) 青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区夏季降水场有显著相关, 其 SVD 分解的第一模态方差贡献在 66.1% 以上, 相关超过 0.1% 的信度, 表明两场间整体一致的耦合关系。

(2) 前期 $10\sim 12$ 月、 $1\sim 4$ 月青藏高原上空 100 hPa 高度场对青藏高原东侧地区夏季降水场有明显非同步作用。该区域高度场变化, 通过影响未来夏季南亚高压状况, 导致高原东侧地区夏季降水异常。

(3) 高原东侧地区严重干旱 (洪涝) 年, 其前期青藏高原上空 100 hPa 高度场偏低 (高), 夏季 $6\sim 8$ 月南亚高压主体、中心位置偏北 (南) 偏西 (东), 高原东侧地区上空为负 (正) 距平控制, 差异显著。

(4) 由于前期青藏高原上空 100 hPa 高度场与高原东侧地区降水场之间的非同步联系, 时空相关显著, 时间间隔长, 物理意义明确, 因此, 具有较好的指示性, 是预测高原东侧地区夏季降水异常的一种前兆信号。

参 考 文 献

- 1 陶诗言、朱福康, 夏季亚洲南部 100 mb 流型的变化及其与太平洋副热带高压进退的关系, 气象学报, 1964 , $34(4)$, $385\sim 395$.
- 2 叶笃正等, 青藏高原加热作用对夏季东亚大气环流影响的初步模拟实验, 中国科学, 1974 , $4(3)$, $301\sim 320$.
- 3 朱福康等, 南亚高压, 北京: 科学出版社, 1980 , $1\sim 95$.
- 4 罗四维等, 夏季 100 mb 青藏高压与我国东部旱涝关系的天气气候研究, 高原气象, 1982 , $1(2)$, $1\sim 10$.
- 5 成都中心气象台, 夏季亚洲 100 mb 南亚高压的活动规律及其与四川旱涝关系的探讨, 气象科技资料, 1973 , 增刊 2 , $1\sim 8$.
- 6 丁裕国、江志红, SVD 方法在气象诊断分析中的普适性, 气象学报, 1995 , $54(3)$, $365\sim 371$.
- 7 孙照渤、章基嘉、J. M. 华莱士, 冬季北大西洋地区海表温度与 500 百帕高度奇异值分解, 南京气象学院学报, 1991 , $14(3)$, $287\sim 293$.

- 8 Wallace, J. M., C. Smith and C. S. Bretheron, Singular value decomposition of winter time sea surface temperature and 500 hPa height anomalies, *J. Climate*, 1992, **5**, 561~576.

Analysis of Circulation Variations over the Tibetan Plateau and Drought-Flood Anomalies on Its Eastern Side

Li Yueqing

(Chengdu Institute of Plateau Meteorology, Chengdu 610071)

Abstract Using Singular Value Decomposition (SVD) technique, the relationship between 100 hPa height over the Tibetan Plateau and summer rainfall on its eastern side is studied. The result shows that the first mode derived from SVD indicates the key coupled characteristics of the height and the rainfall fields with closely time-space correlation. There is an obvious connection between the 100 hPa height over the Tibetan Plateau in previous October-December and January-April and the summer rainfall on its eastern side. The variation of previous height field, by influencing the regime of the South Asia High, results in the drought-flood anomalies in summer on the eastern side of the Tibetan Plateau. In severe drought (flood) years, the 100 hPa height is of negative (positive) departures over the eastern side of the Tibetan Plateau. The asynchronous relationship between the height and rainfall fields with significant correlation, long time intervals and obvious interpretation are a strong signal of the prediction of drought-flood anomalies in summer on the eastern side of the Tibetan Plateau.

Key words: singular value decomposition (SVD); Tibetan Plateau; atmospheric circulation; drought-flood in summer